E-ISSN : 3025-1311
https://journal.cib.institute/index.php/kohesi

Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek
Volume 11 No 3 Tahun 2026

PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BUBUT BESI TERHADAP SIFAT MEKANIS BETON MUTU TINGGI

M. Hasan Muslim Nugraha[1*], Hazairin[2]
[1*]Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil, Itenas, Bandung, Indonesia
[2]Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Itenas, Bandung, Indonesia
E-mail: hasanmuslim176@gmail.com

ABSTRACT

High-strength concrete (HSC) suffers from the drawback that its tensile and flexural strengths do not increase in proportion to its compressive strength; consequently, innovations involving additives are required to enhance its mechanical properties. This study aims to investigate the effect of adding iron lathe waste on the workability and mechanical properties of concrete and to evaluate its potential as an alternative material in fiber-reinforced concrete technology. Mix designs were prepared using ACI 211.1-91 for 30 MPa normal-strength concrete and ACI 211.4R-08 for 45 MPa and 50 MPa high-strength concrete, incorporating iron lathe waste segments (approximately 3 cm in length) at dosages of 1%, 2%, and 3%. The results indicate that the addition of this waste did not significantly affect workability; although slump values decreased, the reductions remained within the ACI 117 tolerance of ±2.5 cm. However, positive improvements in mechanical properties were observed: compressive strength peaked at a 2% dosage (increasing by 11.6% for 30 MPa concrete, 3.24% for 45 MPa, and 5.99% for 50 MPa); tensile strength increased consistently, with the highest gains for each grade occurring at 3% (30 MPa: 25.16%), 2% (45 MPa: 24.52%), and 3% (50 MPa: 59.09%); and flexural strength improved significantly (peaking at 41.56% for 45 MPa concrete with 3% waste and 25.83% for 50 MPa concrete with 1% waste). Thus, iron lathe waste shows potential as a concrete additive to enhance the mechanical performance of both normal- and high-strength concrete, provided that proper compaction is ensured.

Keywords: Iron turning waste, high-strength concrete, mechanical properties of concrete, workability, ACI mix design, concrete admixtures.

ABSTRAK

Beton mutu tinggi (HSC) memiliki kelemahan pada rasio kuat tarik dan lentur yang tidak meningkat proporsional seiring kenaikan kuat tekan, sehingga diperlukan inovasi bahan tambah untuk meningkatkan sifat mekanisnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah bubut besi terhadap

Article History
Received : Agustus 2026
Reviewed: Agustus 2026
Published: Agustus 2026

Plagiarism Checker
No 237.u873247.fh8374

Copyright : Author
Publish by : Kohesi

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

workability dan sifat mekanis beton, serta mengevaluasi potensinya sebagai material alternatif dalam teknologi beton serat. Perencanaan campuran (mix design) dilakukan menggunakan ACI 211.1-91 untuk beton normal 30 MPa dan ACI 211.4R-08 untuk beton mutu tinggi 45 MPa dan 50 MPa, dengan penambahan limbah bubut besi sepanjang ±3 cm pada kadar 1%, 2%, dan 3%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan limbah tersebut tidak berpengaruh signifikan terhadap workability, dengan penurunan nilai slump yang masih dalam toleransi ACI 117 ± 2,5 cm. Namun, terjadi peningkatan sifat mekanis yang positif: kuat tekan tertinggi pada penambahan 2% (beton 30 MPa naik 11,6%; 45 MPa naik 3,24%; 50 MPa naik 5,99%), kuat tarik meningkat konsisten dengan kenaikan tertinggi masing-masing mutu (30 MPa: 25,16% pada 3%; 45 MPa: 24,52% pada 2%; 50 MPa: 59,09% pada 3%), serta kuat lentur meningkat signifikan (tertinggi pada beton 45 MPa dengan 3% sebesar 41,56% dan beton 50 MPa dengan 1% sebesar 25,83%). Dengan demikian, limbah bubut besi berpotensi diaplikasikan sebagai bahan tambah beton untuk meningkatkan kinerja mekanis beton normal maupun mutu tinggi, asalkan dilakukan pemadatan yang tepat.

Kata Kunci: Limbah Bubut Besi, Beton Mutu Tinggi, Sifat Mekanis Beton, *Workability*, *Mix Design ACI*, Bahan Tambah Beton.

1. PENDAHULUAN

Beton dikenal memiliki keunggulan pada kuat tekan yang tinggi, namun memiliki kelemahan signifikan pada kuat tarik yang rendah sehingga rentan terhadap keretakan dini saat menerima beban mekanis. Untuk mengatasi kelemahan tersebut, dikembangkan beton serat, yaitu modifikasi beton konvensional dengan menambahkan serat ke dalam campuran mortar. Berbagai jenis serat dapat digunakan, seperti baja, plastik, kaca, karbon, maupun serat alami (ijuk, rami, dan lainnya). Menurut ACI *Committee* 544, penambahan serat berfungsi untuk meningkatkan ketahanan terhadap benturan (*impact resistance*), memberikan kekuatan sisa (*residual strength*) agar beton tidak langsung hancur setelah retak, serta meningkatkan kekuatan lentur (*flexural strength*).

Di sisi lain, beton mutu tinggi (*High-Strength Concrete*/HSC) dengan kuat tekan di atas 40–55 MPa dirancang menggunakan semen, agregat halus, *admixture*, dan faktor air semen rendah untuk mencapai kepadatan maksimal. Namun, kelemahan HSC adalah rasio kuat tarik dan kuat lentur tidak meningkat secara proporsional seiring kenaikan kuat tekannya. Oleh karena itu, penggabungan konsep beton serat dengan beton mutu tinggi menjadi alternatif yang menjanjikan. Salah satu bahan serat yang potensial adalah limbah bubut besi, berupa serat logam spiral dengan ketebalan 0,5–2 mm, yang dapat dimanfaatkan untuk memperbaiki sifat mekanis beton sekaligus mendukung konsep ramah lingkungan melalui pemanfaatan limbah industri.

2. METODE PENELITIAN

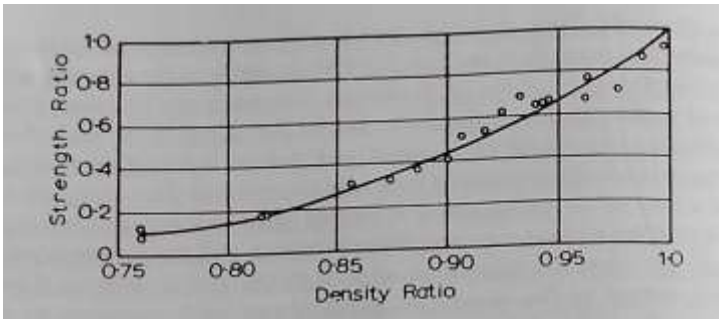
Penelitian dilakukan di laboratorium material Institut Teknologi Nasional Bandung yang bersifat eksprimental dengan kadar limbah bubut besi 1%, 2%, dan 3% dalam rentang dan diluar rentang ACI 544.3R. Tujuan penelitian ini ingin mengetahui penambahan limbah bubut besi

terhadap wokrability, sifat mekanis, serta mengevaluasi limbah bubut besi sebagai material alternatif pada teknologi beton serat. Beton serat didefinisikan sebagai beton yang terbuat dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar dan sejumlah kecil serat / *fibre* (ACI Cocommitte 544, 1982). Bahan-bahan serat yang dapat digunakan untuk perbaikan sifat beton pada beton serat antara lain baja, plastik, kaca, karbon serta serat dari bahan alami seperti ijuk, rami maupun serat dari tumbuhan lain (ACI, 1982). Beton mutu tinggi yang direncanakan 45 Mpa, 50 Mpa, serta beton normal 30 MPa sebagai pembanding pada usia 28 hari.

A. Zulpanani , Hendry dalam Penelitian nya untuk mengkaji pengaruh penambahan serat baja terhadap kuat tekan dan kuat tarik beton. Dari hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa semakin banyak serat baja yang ditambahkan pada beton, semakin tinggi pula kuat tekan dan kuat tarik belah beton normal. Penambahan serat baja (steel fiber) sebesar 4% dan 6% pada beton dapat meningkatkan kekuatan tekan beton masing-masing sekitar 17% dan 40%. Sementara itu, pada kadar serat baja 4% bila dibandingkan tanpa penggunaan serat baja. Penambahan serat baja sebesar 4% dan 6% dapat meningkatkan kuat tarik belah beton sekitar 20% dan 40% dari pada bila dibandingkan tanpa penggunaan serat baja.

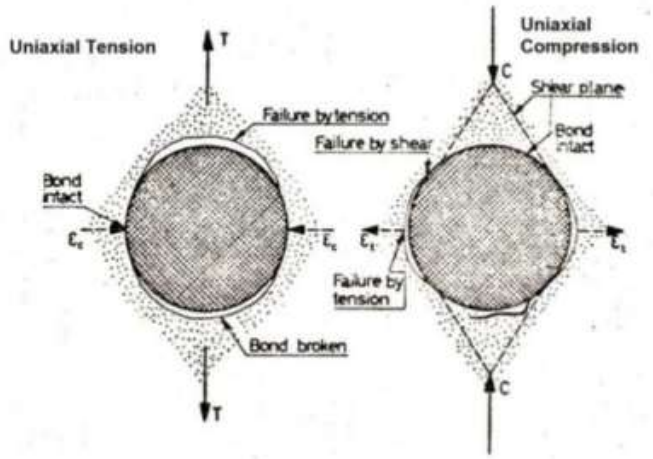
Gambar 1. Limbah Bubut Besi

Menurut Concrete Technology – M.L. Gambhir, peningkatan densitas beton akibat pemadatan berhubungan dengan peningkatan kuat tekan beton. Hal ini ditunjukkan melalui hubungan antara density ratio dan strength ratio di mana density ratio didefinisikan sebagai perbandingan antara densitas aktual beton terhadap densitas beton yang terpadatkan penuh. Peningkatan pemadatan menyebabkan beton menjadi lebih padat dan mengurangi keberadaan rongga dalam massa beton, sehingga kuat beton meningkat.



Gambar 2. Grafik Relation Between Ratio Streght and Density Ratio M.L. Gambhir

Menurut Decka Chaniago Sukanli, Priyanto Saelan (2019) Beton dapat dibagi menjadi tiga fase material yang terdiri dari pasta semen, agregat, dan permukaan antara pasta semen dan agregat. Mekanisme transfer beban diantara fase ini bergantung pada jenis pasta semen, karakteristik permukaan agregat, Bentuk mortar yang melekat pada permukaan agregat kasar ini berbentuk seperti kerucut. Mekanisme keruntuhan tekan beton berdasarkan serpihan beton yang dimodelkan oleh Avram dan rekan dalam Al-Attar, T.S. (2013)dan lekatan atau ikatan adesi yang terjadi pada pasta semen dan karakteristik permukaan agregat.



Gambar 4. Mekanisme keruntuhan beton pada pengujian tekan dan Tarik
(Sumber: Al-Attar, T.S., 2013)

Pada penelitian ini Perencanaan campuran beton *(mix design*) menjadi dua yaitu ACI 211.1-91 yang digunakan untuk beton normal dan *design* beton mutu tinggi Menggunakan ACI 211.4R-08. Adapun material yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen portland tipe I, SikaCim *Concrete Additive*, agregat kasar dengan Pasir garut maksimal 4,75 mm limbah bubut besi yang digunakan berasal dari jenis besi SC45C, VCL, dan VCN yang berasal dari bengkel bubut Jatayu Bandung.

Tabel 1. Hasil Pengujian Material

JENIS PENGUJIAN	HASIL PENGUJIAN	ACUAN
AGREGAT HALUS		
BERAT JENIS SEMU (GR/CM^3)	2,774	
BERAT JENIS KONDISI KERING (GR/CM^3)	2,497	ASTM.C-128
BERAT JENIS SSD / KERING PERMUKAAN (GR/CM^3)	2,59	
PENYERAPAN AIR SSD (%)	3,68	PB-0202-76
MODULUS KEHALUSAN (FM)	3,242	ASTM.C-33
KADAR AIR (%)	4,25	ASTM C-566
BERAT ISI PADAT (GR/CM^3)	1,56	ASTM.C-29
BERAT ISI LEPAS (GR/CM^3)	1,58	
KADAR LUMPUR (%)	1,10	ASTM.C-142
AGREGAT KASAR		

BERAT JENIS SEMU (GR/CM^3)	2,51	
BERAT JENIS KONDISI KERING (GR/CM^3)	2,38	ASTM.C-127
BERAT JENIS SSD / KERING PERMUKAAN (GR/CM^3)	2,43	
PENYERAPAN AIR SSD (%)	2,15	PB-0202-76
MODULUS KEHALUSAN (FM)	5,49	ASTM.C-33
KADAR AIR (%)	3,30	ASTM C-566
BERAT ISI PADAT (GR/CM^3)	1,53	ASTM.C-29
BERAT ISI LEPAS (GR/CM^3)	1,32	
KADAR LUMPUR (%)	1,01	ASTM.C-289

Tabel 2. Mix design beton 30 MPa (Kg/m^3)

AIR	SEMEN	PASIR	KERIKIL
190,10	386,79	627,35	1030,26

Tabel 3. Mix design beton 45 MPa (Kg/m^3)

AIR	SEMEN	PASIR	KERIKIL	SIKACIM
165,5	464,1	517,7	1134,2	3,2

Tabel 4. Mix design beton 50 MPa (Kg/m^3)

AIR	SEMEN	PASIR	KERIKIL	SIKACIM
165,8	532,4	460,9	1134,2	3,7

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan penelitian di laboratorium material Institut Teknologi Nasional Bandung, dengan melakukan pengujian slump, uji kuat tekan, kuat tarik, dan kuat lentur didapatkan hasil sebabai berikut :

Hasil uji slump

Uji slump dilakukan untuk mengetahui konsistensi beton segar, yang menjadi indikator utama *workability* (Kemudahan pengerjaan). Seberapa mudah beton dicampur, diangkut, dituamg, tanpa mengalami pemisahan material (segregasi). Berikut hasil pengujian slump beton dapat dilihat di tabel dibawah ini :

Tabel 5. Hasil Uji Slump Beton 30 MPa

NO.	PENAMBAHAN LIMBAH BUBUT (%)	HASIL SLUMP TEST (CM)
1	0%	11,5
2	1%	11,7
3	2%	12,2
4	3%	13
RATA-RATA		12,10

Tabel 6. Hasil Uji Slump Beton 45 MPa

NO.	PENAMBAHAN LIMBAH BUBUT (%)	HASIL SLUMP TEST (CM)
1	0%	9,3
2	1%	9,8
3	2%	10
4	3%	10,5
RATA-RATA		9,9

Tabel 7. Hasil Uji Slump Beton 50 MPa

NO.	PENAMBAHAN LIMBAH BUBUT (%)	HASIL SLUMP TEST (CM)
1	0%	9,5
2	1%	11,7
3	2%	12,3
4	3%	12,7
RATA-RATA		11,55

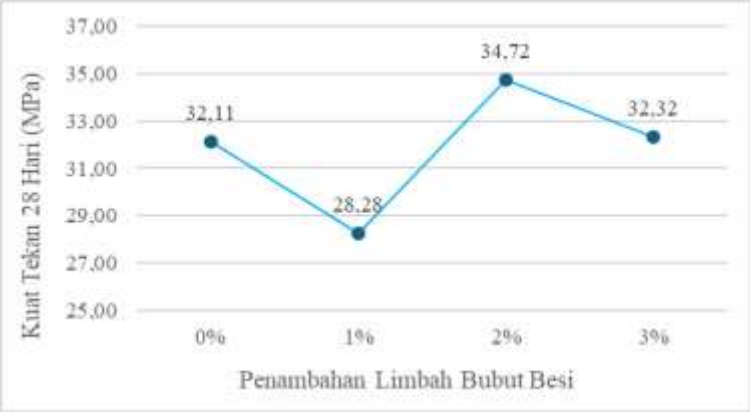
Hasil pengujian workability menunjukkan bahwa pengaruh penambahan limbah bubut besi terhadap nilai slump bervariasi tergantung pada mutu beton. Pada beton mutu normal 30 MPa dengan target slump 12 cm, penambahan serat limbah bubut besi tidak terlalu berpengaruh terhadap workability beton yang terlihat dari rata-rata nilai slump yang relatif stabil. Sementara itu, pada beton mutu tinggi 45 MPa dan 50 MPa dengan target slump 10 cm, penambahan serat limbah bubut besi sedikit berpengaruh terhadap workability, namun pengaruh tersebut dapat dikendalikan dengan penambahan zat aditif SikaCim Concrete Additive sebesar 0,7% dari berat semen dalam mix design. Dengan demikian, penggunaan bahan aditif mampu mempertahankan workability beton mutu tinggi meskipun terdapat penambahan serat limbah bubut besi.

Hasil uji kuat tekan

Tabel 8. Hasil uji tekan beton 30 MPa 28 hari

NO.	PENAMBAHAN LIMBAH BUBUT (%)	MASSA (KG)	VOLUME (M^3)	DENSITAS (KG/M^3)	KUAT TEKAN (MPA)	MASA TERCAPAI (%)	POROSITAS (%)
1	0%	3,67	0,00157	2337,58	32,11	97,40	2,60
2	1%	3,48	0,00157	2242,04	28,28	93,42	6,58
3	2%	3,67	0,00157	2363,06	34,72	98,46	1,54
4	3%	3,70	0,00157	2324,84	32,32	96,87	3,13

Gambar 5. Grafik densitas kuat tekan beton 30 MPa

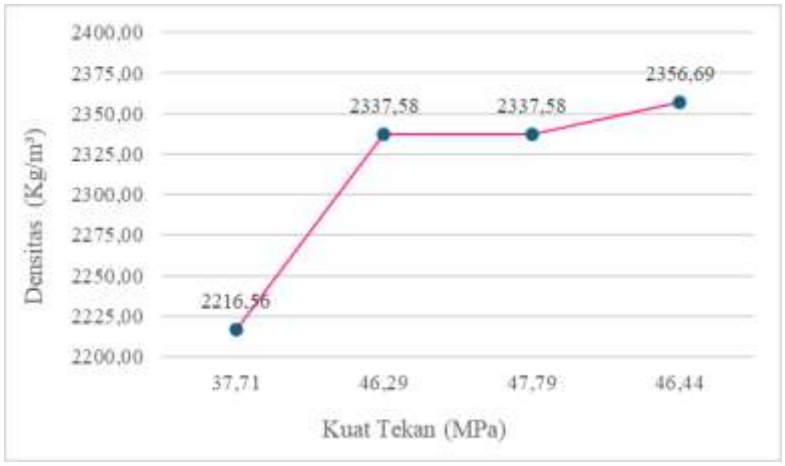


Gambar 6. Grafik densitas kuat tekan beton 30 MPa

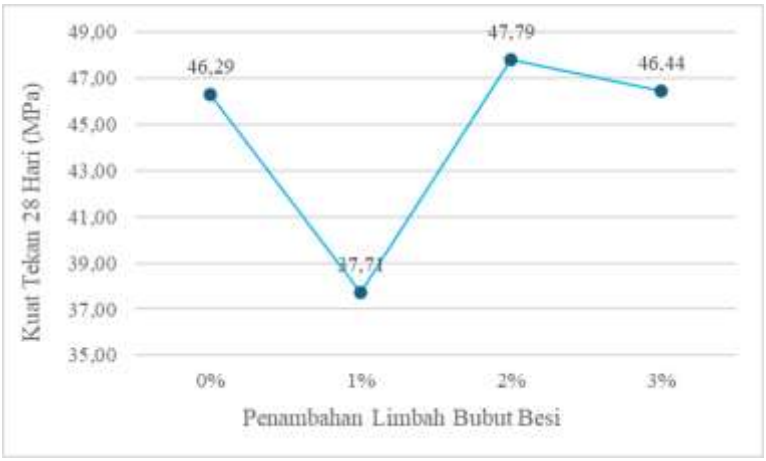
Pada variasi limbah 1%, kuat tekan aktual 28,28 MPa (turun 11,93%) akibat densitas rendah berdasarkan grafik Gambhir **Gambar 2**, jika densitas dinaikkan dari 93,39% (strength ratio 60%) menjadi 97,46% (strength ratio 80%), proyeksi kuat tekannya menjadi 37,7 MPa.

Tabel 9. Hasil uji tekan beton 45 MPa 28 hari

NO.	PENAMBAHAN LIMBAH BUBUT (%)	MASSA (KG)	VOLUME (M^3)	DENSITAS (KG/M^3)	KUAT TEKAN (MPA)	MASA TERCAPAI (%)	POROSITAS (%)
1	0%	3,67	0,00157	2337,58	46,29	97,40	2,60
2	1%	3,48	0,00157	2216,56	37,71	92,36	7,64
3	2%	3,67	0,00157	2337,58	47,79	97,40	2,60
4	3%	3,70	0,00157	2356,69	46,44	98,20	1,80



Gambar 7. Grafik densitas kuat tekan beton 45 MPa

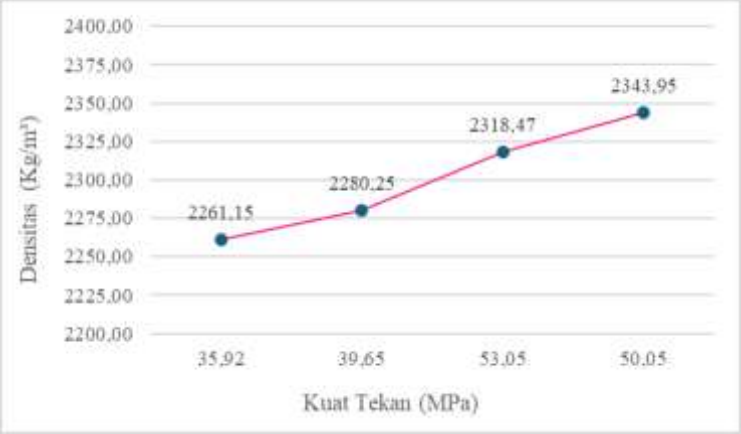


Gambar 8. Grafik densitas kuat tekan beton 45 MPa

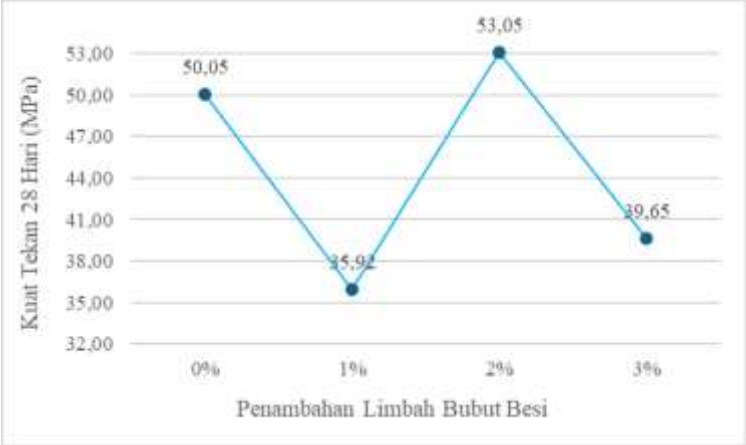
Pada variasi limbah 1%, kuat tekan aktual 37,71 MPa (turun 18,53%) akibat densitas rendah (92,37%) dan porositas tinggi (7,63%). Berdasarkan grafik Gambhir **Gambar 2**, jika densitas dinaikkan dari 92,36% (ratio 58%) menjadi 97,38% (ratio 80%), proyeksi kuat tekannya menjadi 52,01 MPa

Tabel 10. Hasil uji tekan beton 50 MPa 28 hari

NO.	PENAMBAHAN LIMBAH BUBUT (%)	MASSA (KG)	VOLUME (M^3)	DENSITAS (KG/M^3)	KUAT TEKAN (MPA)	MASA TERCAPAI (%)	POROSITAS (%)
1	0%	3,68	0,00157	2343,95	50,05	97,66	2,34
2	1%	3,55	0,00157	2261,15	35,92	94,21	5,79
3	2%	3,64	0,00157	2318,47	53,05	96,60	3,40
4	3%	3,58	0,00157	2280,25	39,65	95,01	4,99



Gambar 9. Grafik densitas kuat tekan beton 45 MPa



Gambar 10. Grafik densitas kuat tekan beton 45 MPa

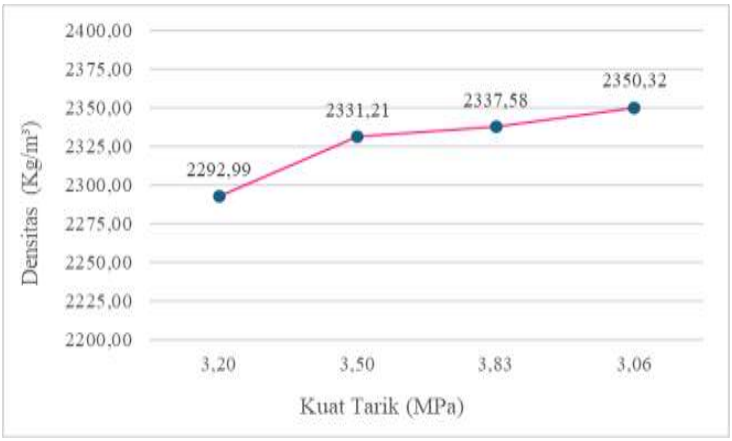
Pada variasi limbah 1%, kuat tekan aktual 35,92 MPa (turun 28,23%) akibat densitas rendah (94,21%) dan porositas tinggi (5,79%). Berdasarkan grafik Gambhir **Gambar 2**, jika densitas dinaikkan dari 94,21% (ratio 61%) menjadi 97,66% (ratio 85%), proyeksi kuat tekannya menjadi 50,05 MPa.

Pada variasi limbah 3%, kuat tekan aktual 39,65 MPa (turun 20,77%) akibat densitas rendah (94,21%) dan porositas tinggi (5,79%). Berdasarkan grafik Gambhir **Gambar 2**, jika densitas dinaikkan dari 94,21% (ratio 61%) menjadi 97,66% (ratio 85%), proyeksi kuat tekannya menjadi 51,85 MPa

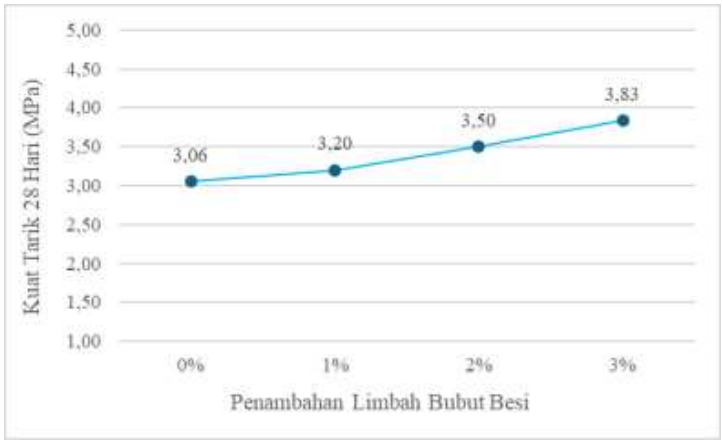
Hasil uji kuat tarik

Tabel 11. Hasil uji tarik beton 30 MPa 28 hari

NO.	PENAMBAHAN LIMBAH BUBUT (%)	MASSA (KG)	VOLUME (M^3)	DENSITAS (KG/M^3)	KUAT TARIK (MPA)	MASA TERCAPAI (%)	POROSITAS (%)
1	0%	3,69	0,00157	2350,32	3,06	97,93	2,07
2	1%	3,60	0,00157	2292,99	3,20	95,54	4,46
3	2%	3,66	0,00157	2331,21	3,50	97,13	2,87
4	3%	3,67	0,00157	2337,58	3,83	97,40	2,60



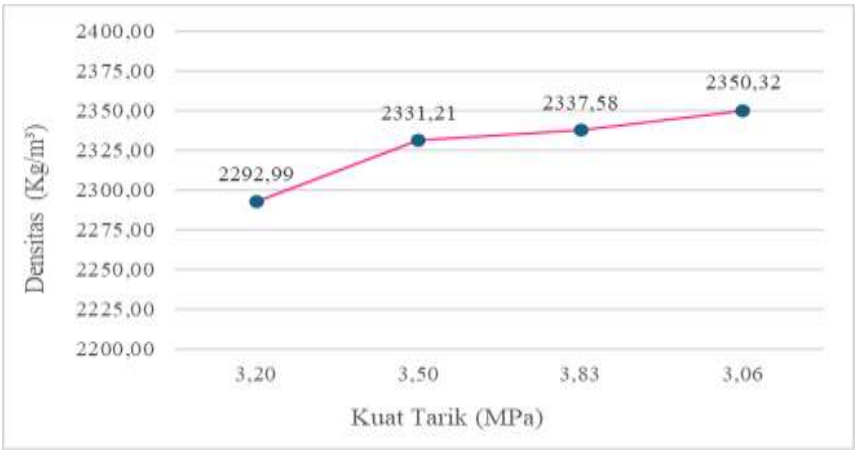
Gambar 11. Grafik densitas kuat Tarik beton 30 MPa



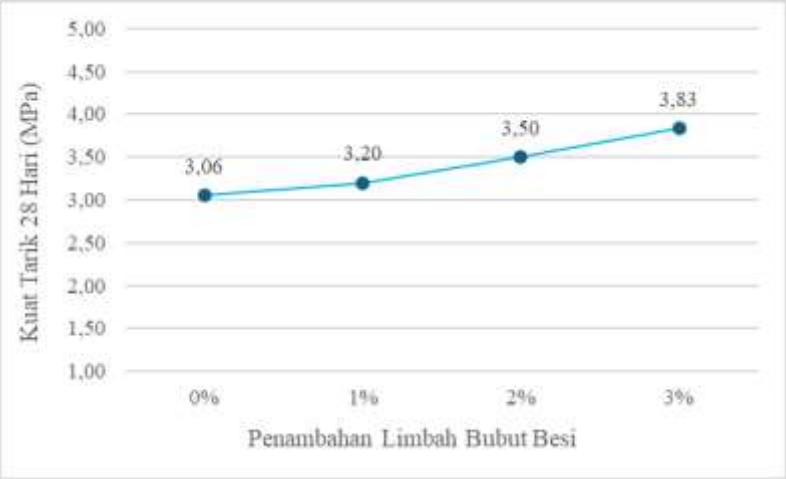
Gambar 12. Grafik densitas kuat tarik beton 30 MPa

Tabel 12. Hasil uji tarik beton 45 MPa 28 hari

NO.	PENAMBAHAN LIMBAH BUBUT (%)	MASSA (KG)	VOLUME (M^3)	DENSITAS (KG/M^3)	KUAT TARIK (MPA)	MASA TERCAPAI (%)	POROSITAS (%)
1	0%	3,66	0,00157	2331,21	3,14	97,13	2,87
2	1%	3,61	0,00157	2299,36	3,32	95,81	4,19
3	2%	3,70	0,00157	2356,69	3,91	98,20	1,80
4	3%	3,66	0,00157	2331,21	3,64	97,13	2,87



Gambar 13. Grafik densitas kuat Tarik beton 45 MPa

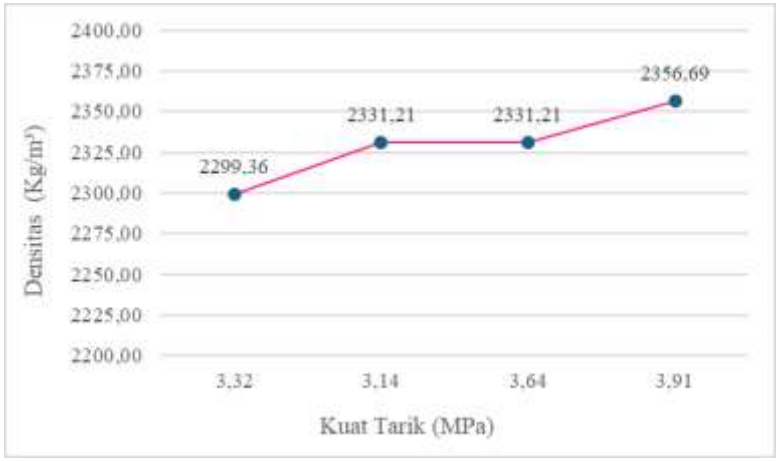


Gambar 14. Grafik densitas kuat tarik beton 45 MPa

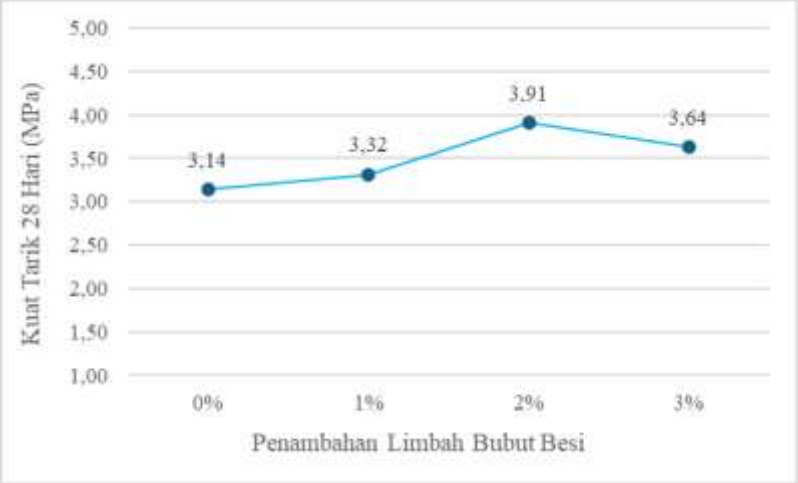
Pada variasi limbah 3% beton 45 MPa, kuat tarik aktual 3,64 MPa (naik 15,92% dari normal), meski densitasnya hampir sama dengan variasi 2% (Tabel 4.27). Berdasarkan grafik Gambhir Gambar 2, jika densitas dinaikkan dari 97,13% (ratio 80%) menjadi 98,20% (ratio 90%), proyeksi kuat tariknya menjadi 4,1 MPa

Tabel 13. Hasil uji tarik beton 50 MPa 28 hari

NO.	PENAMBAHAN LIMBAH BUBUT (%)	MASSA (KG)	VOLUME (M^3)	DENSITAS (KG/M^3)	KUAT TARIK (MPA)	MASA TERCAPAI (%)	POROSITAS (%)
1	0%	3,69	0,00157	2350,32	3,30	97,93	2,07
2	1%	3,59	0,00157	2286,62	2,95	95,28	4,72
3	2%	3,66	0,00157	2331,21	3,72	97,13	2,87
4	3%	3,71	0,00157	2363,06	5,25	98,46	1,54



Gambar 15. Grafik densitas kuat Tarik beton 50 MPa

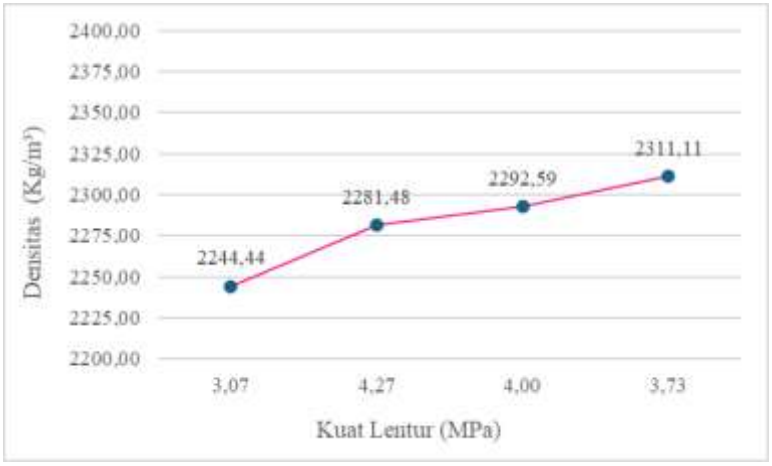


Gambar 16. Grafik densitas kuat tarik beton 50 MPa

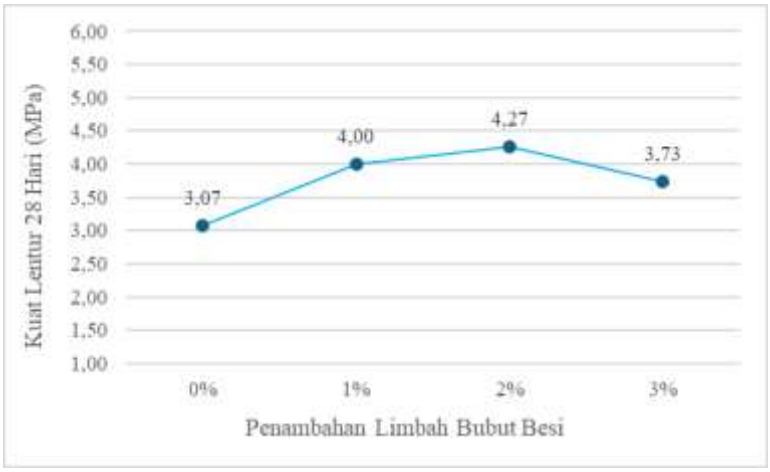
Uji lentur beton

Tabel 14. Hasil uji lentur beton 30 MPa 28 hari

NO.	PENAMBAHAN LIMBAH BUBUT (%)	MASSA (KG)	VOLUME (M^3)	DENSITAS (KG/M^3)	KUAT LENTUR (MPA)	MASA TERCAPAI (%)	POROSITAS (%)
1	0%	30,30	0,0135	2244,44	3,07	93,52	6,48
2	1%	30,95	0,0135	2292,59	4,00	95,52	4,48
3	2%	30,80	0,0135	2281,48	4,27	95,06	4,94
4	3%	31,20	0,0135	2311,11	3,73	96,30	3,70



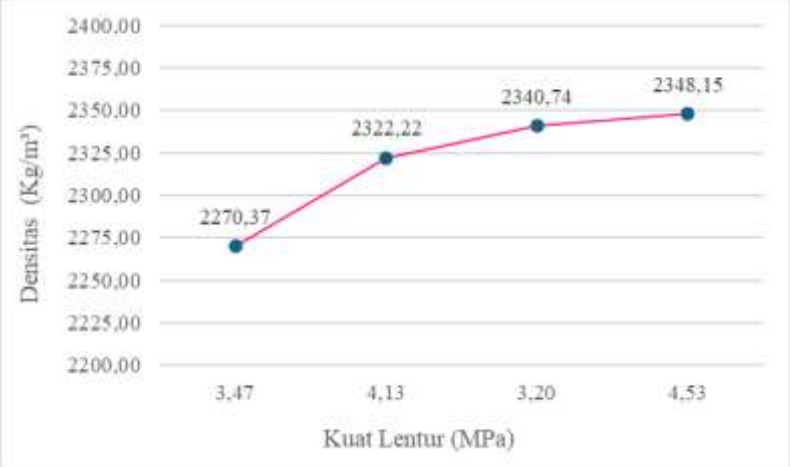
Gambar 17. Grafik densitas kuat lentur beton 30 MPa



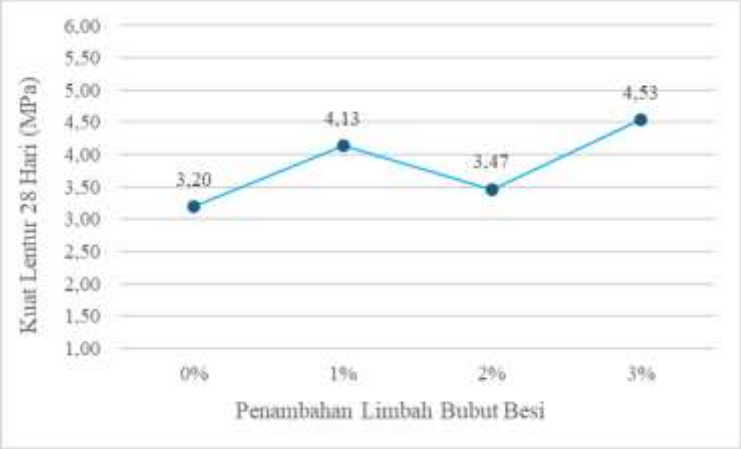
Gambar 18. Grafik densitas kuat lentur beton 30 MPa

Tabel 15. Hasil uji lentur beton 45 MPa 28 hari

NO.	PENAMBAHAN LIMBAH BUBUT (%)	MASSA (KG)	VOLUME (M^3)	DENSITAS (KG/M^3)	KUAT LENTUR (MPA)	MASA TERCAPAI (%)	POROSITAS (%)
1	0%	31,60	0,0135	2340,74	3,20	97,53	2,47
2	1%	31,35	0,0135	2322,22	4,13	96,76	3,24
3	2%	30,65	0,0135	2270,37	3,47	94,60	5,40
4	3%	31,70	0,0135	2348,15	4,53	97,84	2,16



Gambar 19. Grafik densitas kuat lentur beton 45 MPa

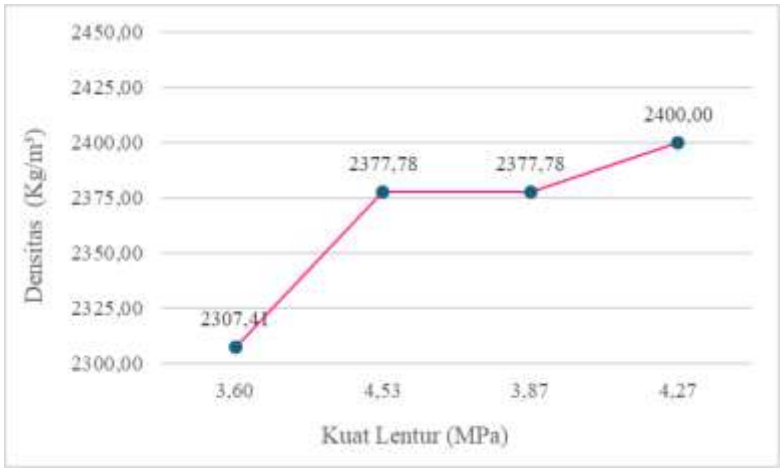


Gambar 20. Grafik densitas kuat lentur beton 45 MPa

Pada variasi limbah 2% , kuat lentur aktual 3,47 MPa (naik 8,44% dari normal), namun menurun dibanding variasi 1% akibat densitas rendah dan porositas tinggi (Tabel 4.36). Berdasarkan grafik Gambhir **Gambar 2**, jika densitas dinaikkan dari 94,60% (ratio 69%) menjadi 97,53% (ratio 88%), proyeksi kuat lenturnya menjadi 4,42 MPa.

Tabel 16. Hasil uji lentur beton 50 MPa 28 hari

NO.	PENAMBAHAN LIMBAH BUBUT (%)	MASSA (KG)	VOLUME (M^3)	DENSITAS (KG/M^3)	KUAT LENTUR (MPA)	MASA TERCAPAI (%)	POROSITAS (%)
1	0%	31,15	0,0135	2307,41	3,60	96,14	3,86
2	1%	32,10	0,0135	2377,78	4,53	99,07	0,93
3	2%	32,10	0,0135	2377,78	3,87	99,07	0,93
4	3%	32,40	0,0135	2400,00	4,27	100,00	0,00



Gambar 21. Grafik densitas kuat lentur beton 50 MPa

Gambar 22. Grafik densitas kuat lentur beton 50 MPa

Hasil pembahasan untuk beton 50Mpa dengan variasi penambahan limbah bubut besi 1%, 2%, dan 3% semua menunjukan kekuatan lentur yang lebih tinggi dari beton normal. Penambahan limbah bubut membantu betonmenahan tegangan yang mengakibatkan deformasi, sisi atas mengalami tekan (pemendekan) dan sisi bawah mengalami tarik (peregangan). Dari Penelitian Naaman & Reinhardt (2006), *Proposed classification of High-Performance Fiber Reinforced Concrete* (HPFRC) composites based on their tensile response, Penambahan serta posisi serat yang tepat mampu meningkatkan efisiensi transfer tegangan di sepanjang celah retakan, yang secara efektif meningkatkan daktilitas beton sekaligus memungkinkan terjadinya pola retak majemuk kecil (*multiple cracking*)

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan limbah bubut besi dengan kadar 1%, 2%, dan 3% tidak terlalu berpengaruh terhadap workability beton, dengan kenaikan nilai slump yang masih berada dalam batas toleransi ACI 117 ± 2,5 cm. Namun demikian, penambahan serat limbah bubut besi berpengaruh positif terhadap sifat mekanis beton seiring bertambahnya persentase penambahan pada berbagai mutu rencana. Pada kuat tekan, peningkatan terbesar terjadi pada penambahan 2%, yaitu beton 30 MPa meningkat 11,6%, beton 45 MPa meningkat 3,24%, dan beton 50 MPa meningkat 5,99%. Pada kuat tarik, penambahan serat secara konsisten meningkatkan nilai pada semua mutu, dengan peningkatan signifikan tertinggi terjadi pada beton 30 MPa (25,16% pada penambahan 3%), beton 45 MPa (24,52% pada penambahan 2%), dan beton 50 MPa (59,09% pada penambahan 3%). Sementara itu, pada kuat lentur, peningkatan tertinggi terjadi pada beton 45 MPa dengan penambahan 3% (41,56%) dan beton 50 MPa dengan penambahan 1% (25,83%). Dengan demikian, limbah bubut besi dapat diaplikasikan sebagai bahan tambah pada beton normal maupun beton mutu tinggi, dengan syarat pemadatan yang tepat dan panjang serat ± 3 cm untuk dapat meningkatkan sifat mekanis beton secara optimal.

DAFTAR PUSTAKA

ACI *Committee* 211. (1991). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91). American Concrete Institute.*

ACI *Committee* 211. (2008). *Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete Using Portland Cement and Other Cementitious Materials (ACI 211.4R-08). American Concrete Institute.*

ASTM C127. (2015). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate*. ASTM *International*.

ASTM C117. (2017). *Standard Test Method for Materials Finer than* 75-µm (No. 200) *Sieve in Mineral Aggregates by Washing*. ASTM *International*.

ASTM C566. (2019). *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying*. ASTM *International*.

ASTM C29. (2017). *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*. ASTM *International*.

Badan Standardisasi Nasional. (2012). Tata cara pemilihan beton normal, beton berat, dan beton massa (SNI 7656:2012). BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2011). Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder (SNI 1974:2011). BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2014). Cara uji kuat tarik beton dengan benda uji silinder (SNI 03-2491-2014). BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2011). Cara uji kuat lentur beton dengan benda uji balok (SNI 4431:2011). BSN.

Jamal, M., Widiastuti, M., & Anugrah, A. T. (2017, November 9). Pengaruh penggunaan SIKACIM *Concrete Additive* terhadap kuat tekan beton dengan menggunakan agregat kasar Bengalon dan agregat halus Pasir Mahakam. https://e-journals.unmul.ac.id/index.php/SEMNASTEK/article/view/967

Sukmawati, R., Achmad, K., & Kiptiah, M. (2021). Pengaruh penambahan limbah bubut besi pada kuat tarik belah dan kuat lentur beton serat. https://ojs.poltekba.ac.id/ojs/index.php/jutateks/article/view/320

Zulpanani, A., Hendry, Sirait, T., Juarti, E. R., & Kusuma, Y. (2023). Pengaruh penambahan serat baja (*steel fiber*) terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah pada beton normal. Potensi Jurnal Sipil Politeknik 25(2):94-102

Comparison of ACI, IS and DOE methods of concrete mix design. (n.d.). Nigerian Journal of Engineering. Retrieved from https://www.ajol.info/index.php/njeng/article/view/271130

Performance and sustainability of concrete mixes designed by ACI 211 and BS EN 206. (n.d.). ResearchGate. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/399546589

Pavement Interactive. (n.d.). ACI mix design. Retrieved from https://pavementinteractive.org/reference-desk/design/mix-design/aci-mix-design/